Norsk klimastiftelse
NORGES GRØNNE TANKESMIE

Notat nr. 03/2020

Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart

KIRSTEN ØYSTESE
Prosjektleder for grønn skipsfart i Norsk klimastiftelse

Notatet er skrevet av Kirsten Øystese

REDAKSJON:
Anders Bjartnes (ansvarlig redaktør)
Lars-Henrik Paarup Michelsen

DESIGN:
Håvar Skaugen

REDAKSJONSSLUTT:
10.06.2020

FORSIDEBILDE:
Eidesvik Offshore ASA

Norsk klimastiftelse
NORGES GRØNNE TANKESMIE

Norsk klimastiftelse er Norges grønne tankesmie. Vi sprer kunnskap og ideer til et bredt publikum om klimaendringer og klimaløsninger. Målet er et samfunn uten menneskeskapte klimagassutslipp. Klimastiftelsen tror på åpenhet og samarbeid. I stiftelsens formelle nettverk sitter landets fremste universiteter, høyskoler og forskningssentre.

Vi takker våre hovedsamarbeidspartnere:

BKK · Høgskulen på Vestlandet · KBN Den norske stats kommunalbank · Sparebanken Vest · SKL · KAVLI FONDET

Forord

For å begrense den globale oppvarmingen til *godt under* to grader må vi få til en rask reduksjon og stans av menneskeskapte klimagassutslipp. Utslippene må halveres innen 2030 og nå i null i 2050. Og det må skje i alle sektorer.

Norske bilferger er godt i gang med teknologiskiftet fra diesel til batteri. Hurtigbåtene følger nå etter. Men den store utfordringen er å finne utslippsfrie alternativer som også er egnet for store skip som går i internasjonal trafikk.

Ammoniakk kan være det beste alternativet. Grønn ammoniakk – produsert helt uten bruk av fossil energi – kan brukes som drivstoff i skip.

For Norge er grønn ammoniakk interessant at tre grunner: Vår strømproduksjon er tilnærmet 100 prosent fornybar, vi produserer ammoniakk til bruk i gjødselindustrien, og vi er en ledende skipsfartsnasjon. Vi kan bruke vår utslippsfrie strøm til å produsere grønn ammoniakk og levere utslippsfritt drivstoff til skipsfarten.

Grønn ammoniakk til bruk i skipsfart kan både kutte utslipp og samtidig skape arbeidsplasser og eksportinntekter. Med dette notatet ønsker vi derfor å øke kunnskapen om og interessen for muligheten for å kutte utslipp i skipsfarten med grønn ammoniakk.

Lars-Henrik Paarup Michelsen
Daglig leder

Innhold

4 AMMONIAKK KAN KUTTE STORE UTSLIPP I SKIPSFART

5 SKIPSFARTENS KLIMAPROBLEM

6 SKIPSFARTEN TRENGER ALTERNATIVER TIL FOSSILT DRIVSTOFF

7 AMMONIAKK KAN VISE SEG Å VÆRE BEST AV DE «DÅRLIGE» DRIVSTOFFENE

9 «GRÅ», «BLÅ» OG «GRØNN» AMMONIAKK

10 BILLIGERE STRØM OG DYRERE UTSLIPP VIL GJØRE GRØNN AMMONIAKK MER KONKURRANSEDYKTIG

12 GRØNN AMMONIAKK KREVER MYE GRØNN ENERGI

13 AMMONIAKK SOM DRIVSTOFF I SKIP

14 RISIKO VED BRUK AV AMMONIAKK SOM DRIVSTOFF

15 SUMMEN AV FIRE FAKTORER GJØR AMMONIAKK TIL DET POTENSIELT BESTE ALTERNATIVET

16 POLITIKK OG MARKED KAN SKRU OPP TEMPOET

Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart

Skip i internasjonal trafikk bruker store mengder fossil bunkersolje. Når sektoren skal kutte sine klimagassutslipp, er det nødvendig å erstatte dagens drivstoff med klimavennlige alternativer. Ammoniakk kan være det beste alternativet for den internasjonale skipsflåten.

Til tross for at det i dag ikke er et eneste skip i verden som går på ammoniakk, er det de siste to-tre årene publisert en rekke rapporter og analyser som konkluderer med at ammoniakk kan være et av de mest lovende og potensielt utslippsfrie alternativene til fossilt drivstoff i skip. Eksempler på slike rapporter er:

- Techno-economic assessment of zero-carbon fuels, Lloyd's Register og University Maritime Advisory Services (UMAS) (2020)[1]
- Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store, Royal Society (2020)[2]
- Forecasting the Alternative Marine Fuel, Ammonia, Korean Register (2020)[3]
- Energy Transition Outlook 2019, Maritime Forecast to 2050, DNV GL (2019)[4]
- Mission Possible, Reaching Net-Zero carbon emissions in Shipping, Energy Transitions Commission (2018)[5]

Nå begynner også konkrete prosjekter å ta form:

- I 2024 kan Eidesviks Viking Energy bli verdens første offshore supplyskip som går på grønn ammoniakk.[6]
- Color Line deltar i en pilotstudie hvor det undersøkes om Oslo-Kiel-fergen Color Fantasy kan gå på ammoniakk.[7]
- Global Maritime Forum har lansert prosjektet Nordic Green Ammonia Powered Ships (NoGAPS) som tar for seg hele ammoniakk-verdikjeden fra produksjon til bruk som drivstoff i skip.[8]
- MISC, Samsung Heavy Industries, Lloyd's Register og MAN Energy Solutions har inngått en avtale om et felles samarbeidsprosjekt for å utvikle et ammoniakkdrevet tankskip.[9]

Skipsfartens klimaproblem

Internasjonal skipsfart er ansvarlig for 2-3 prosent av globale klimagassutslipp.

Tall fra United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)[10] og International Maritime Organization (IMO)[11] forteller om skipsfartens utvikling, både når det gjelder fraktvolumer og klimagassutslipp.

Skipsfart er handel. 80 prosent av varer som handles mellom kontinenter, fraktes på skip og vekst i global handel har gitt vekst i skipstrafikk. Fra 1970 til 2018 har internasjonal varetransport til sjøs økt fra 2,6 til 11 milliarder tonn. Og den globale skipsflåten har vokst i takt med fraktbehovet – fartøyene har blitt både flere og større.

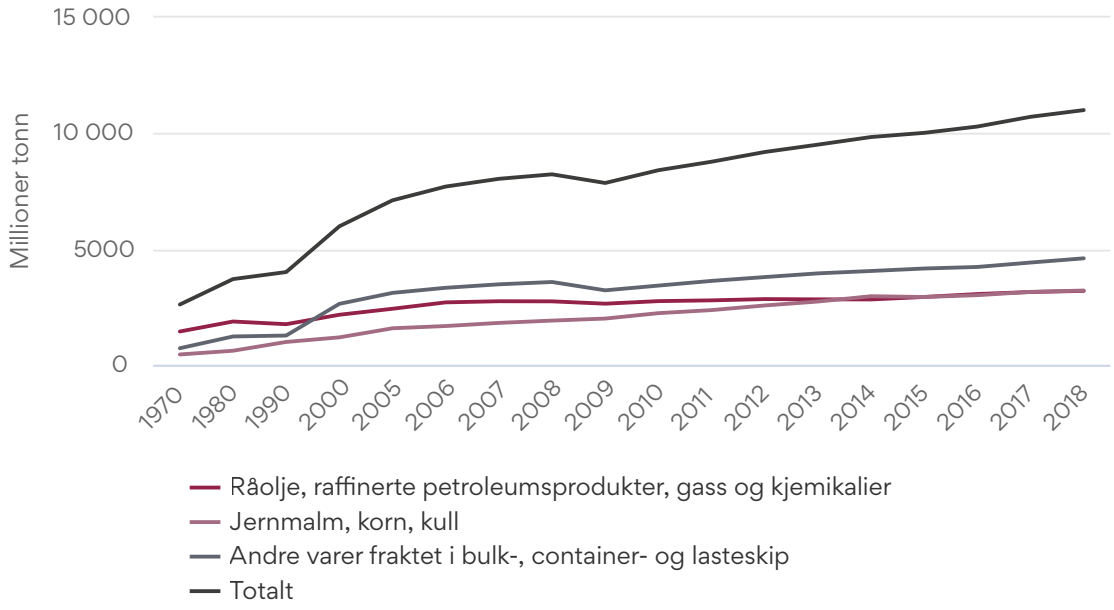
Mer enn 90 000 skip seiler i dag i internasjonal handelstrafikk.[12]

Før koronakrisen lå verdens oljeforbruk på nærmere 100 millioner fat per dag og ca. 5 prosent av disse brukes som drivstoff i den internasjonale skipsfarten.[13]

Utslippene fra den internasjonale skipsfarten er på 800–900 millioner tonn CO_2 årlig.[14] Dette er mer enn 20 ganger Norges totale CO_2-utslipp, og 2–3 prosent av de globale utslippene.

For å nå målet i Parisavtalen om å begrense global oppvarming til *godt under* 2 grader og helst 1,5 grader, må vi få til en rask reduksjon og stans av menneskeskapte klimagassutslipp. Utslippene må halveres innen 2030 og nå null rundt 2050. Og det må skje i alle sektorer – også skipsfarten.

Skipsfart er handel



Fra 1970 til 2018 har internasjonal varetransport til sjøs økt fra 2,6 til 11 milliarder tonn. Råvarer som olje, kull og jernmalm utgjør til sammen over 40 prosent. Skipsflåten har vokst i takt med fraktbehovet. Kilde: UNCTAD, Review of Maritime Transport 2019

Skipsfarten trenger alternativer til fossilt drivstoff

Det er umulig å kutte utslippene fra skipsfarten tilstrekkelig uten å erstatte det fossile drivstoffet med utslippsfrie eller klimanøytrale alternativer.

I jakten på klimavennlige alternativer til fossilt drivstoff, er det viktig å være klar over at mange av alternativene må fremstilles i industrielle prosesser. Og både «råstoffet» som de lages fra, og måten de lages på, kan være mer eller mindre klima- og miljøvennlig. Det betyr at hele verdikjeden er viktig når alternative drivstoff utvikles.

Hydrogen er eksempelvis en utslippsfri energibærer. Det kommer ingen eksos med klimagasser ut fra et hydrogenskip. Men hvor klimavennlig det er å bruke hydrogen, vil avhenge av hvordan hydrogenet produseres. Hydrogen kan produseres helt utslippsfritt hvis fornybar strøm benyttes til å spalte vann til hydrogen og oksygen. Hvis derimot hydrogen fremstilles ved reformering av naturgass uten karbonfangst og -lagring (CCS), ender vi opp med en verdikjede som representerer store utslipp.

Før koronakrisen lå verdens oljeforbruk på nærmere 100 millioner fat per dag. Ca. 5 prosent av disse brukes som drivstoff i den internasjonale skipsfarten. Kilde: IEA

Ammoniakk kan vise seg å være best av de «dårlige» drivstoffene

Det perfekte alternativet til dagens fossile bunkersolje har høy energitetthet, det er billig, og det kan produseres uten negative klima- og miljøkonsekvenser. Et slikt alternativ finnes ikke.

Flytende fossilt drivstoff er perfekt for skipsfart fordi det er billig, tilgjengelig over hele verden og har høy energitetthet. Skip kan seile lange distanser uten å måtte bunkre drivstoff, og det er god plass til varene som skipene skal frakte. Klimanøytrale og ikke minst utslippsfrie alternativer har lavere energitetthet. De krever enten mer plass, de er tyngre, eller begge deler.

Begrepet nullutslipp eller utslippsfrie skip, brukes om skip eller motorer som ikke gir utslipp av klimagasser ved bruk. Klimanøytrale skip, eller klimanøytralt drivstoff, brukes der det beregnes at mengden karbon som frigjøres ved bruk, allerede inngår i naturens kretsløp.

Selv om biodrivstoff, som biodiesel, har mer eller mindre de samme klimagassutslippene ved forbrenning som fossilt drivstoff, regnes bruk av biodrivstoff som klimanøytralt, ifølge retningslinjer fra FNs klimapanel (IPCC).

Men biodrivstoff er omstridt fordi biomasse er en begrenset ressurs. Å bruke biologiske restprodukter som ikke har andre nyttige bruksområder er god ressursutnyttelse som gir god klimagevinst. Men å hugge ned regnskog for å dyrke hurtigvoksende planter til biodrivstoffproduksjon er svært negativt for klimaet og naturmangfoldet.

Batterier, hydrogen og ammoniakk har ikke utslipp av CO_2 ved bruk, til forskjell fra metanol, etanol, LNG, diesel og bensin. Hydrogen og ammoniakk kan potensielt være helt karbonfrie alternativer til fossilt drivstoff i skipsfarten, men da må også produksjonen av hydrogen og ammoniakk være karbonfri.

Batterier har lav energitetthet. De veier mye og tar mye plass i forhold til energiinnholdet. Det trenger ikke bety at batteri er et dårlig alternativ. I norske bilferger fungerer batterier godt. De aller fleste norske bilferger kjører korte distanser i middels fart i faste ruter med mulighet for å lade ofte. Verdens første helelektriske bilferge – Ampere – kan klare seg med et 10 tonn tungt batteri. Batteriet beslaglegger kun ca. 5 prosent av fergens lastekapasitet, og dermed er det fremdeles god kapasitet til både biler og passasjerer. Men med dagens batteriteknologi er ikke helelektrisk drift mulig for store skip som seiler langt.

Hydrogen veier lite, men det er voluminøst. For å få så høy energitetthet som mulig uten at det tar for mye plass, må hydrogen enten komprimeres eller gjøres flytende ved å kjøle det ned til minus 253 °C. Både komprimert og flytende hydrogen må oppbevares i solide tanker. Disse veier mye, og dermed forsvinner også mye av vektfordelen. (I figuren på neste side indikerer trekantet symbol energitettheten når også tank er inkludert.) Også LNG «mister» noe av energitettheten fordi naturgass må fryses ned til ca. minus

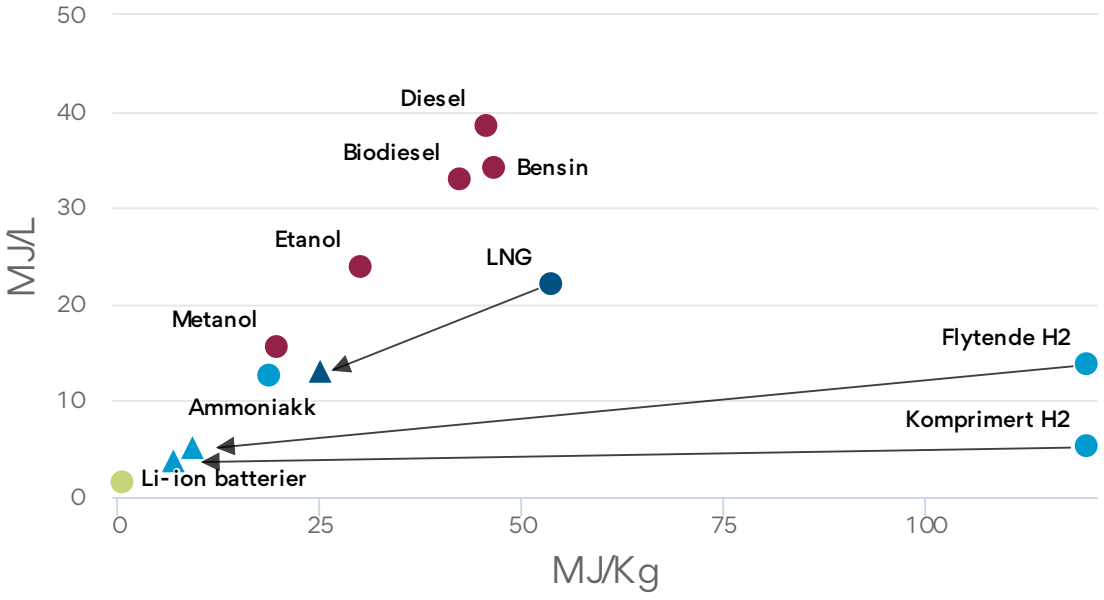
162 °C for å bli flytende og trenger derfor også solide tanker.

Ammoniakk består av hydrogen og nitrogen (NH_3). Ammoniakk er en viktig industriråvare. Etter at Haber og Bosch oppdaget ammoniakksyntesen i Tyskland på begynnelsen av 1900-tallet, har ammoniakkens rolle som råstoff i uorganisk gjødsel blitt stadig viktigere for matproduksjonen i verden. I dag produseres det rundt 180 millioner tonn ammoniakk i verden som i all hovedsak benyttes som råstoff i gjødselproduksjon og andre kjemiske prosesser. 20 prosent av produksjonen i verden fraktes som vare på skip. Det finnes derfor allerede noe infrastruktur for ammoniakk langs viktige skipsfartsruter, og sikkerhetsrutine og regelverk for håndtering av ammoniakk som vare på skip er på plass. Det kan klasseselskapene ta utgangspunkt i når regelverk og sikkerhetsrutiner for bruk av ammoniakk som drivstoff i skip utvikles.

Ammoniakk har nesten dobbelt så høy energitetthet som hydrogen når hydrogentankenes volum og vekt tas med i beregningen. I tillegg kan ammoniakk – i likhet med hydrogen, men til forskjell fra de aller fleste andre alternative drivstoff – potensielt produseres helt uten karbon.

Ammoniakk er testet som drivstoff i biler og busser, men i veldig liten skala. Under andre verdenskrig førte diesel-mangel til at det ble utviklet en ammoniakk- og kullgass-hybrid-motor i Belgia i 1943 for å holde en viss andel av de offentlige bussene i rute. Sommeren 2007 kjørte en pick-up fra Detroit til San Francisco på en blanding av ammoniakk og bensin.[15] Det finnes ingen skip i verden i dag som går på ammoniakk. Likevel har troen på at ammoniakk kan være det beste alternativet til fossilt drivstoff i skipsfarten vokst seg sterkere de siste årene.

Ammoniakk har høyere energitetthet enn batteri og hydrogen

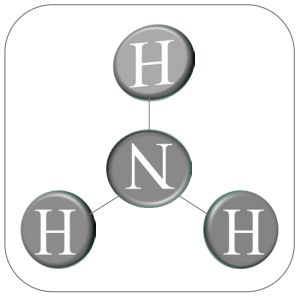


Volumentrisk og gravimetrisk energitetthet for ulike drivstoff/energibærere. Pilene viser endringen i energitetthet når lagringssystem/tank inkluderes i beregningen av energitetthet. For både komprimert og flytende hydrogen er den totale energitettheten betydelig mindre når også lagringssystem/tank tas med i betraktningen fordi hydrogen må oppbevares i store, solide tanker. Også for LNG er energitettheten betydelig lavere når tank inkluderes. Kilde: Shell/MariGreen

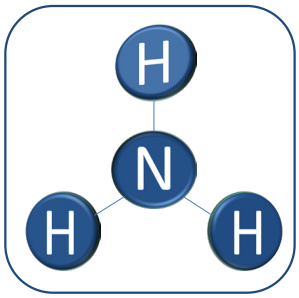
«Grå», «blå» og «grønn» ammoniakk

Ammoniakk (NH_3) er karbonfritt og består kun av nitrogen og hydrogen. Men det brukes store mengder fossil energi – med betydelige CO_2-utslipp – i produksjonen av ammoniakk. Det må det bli slutt på om ammoniakk skal være et godt, klimavennlig alternativ til fossilt drivstoff.

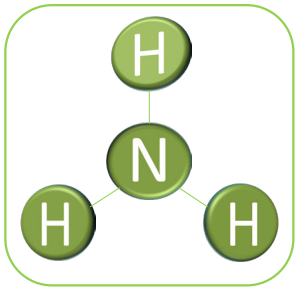
Grå ammoniakk: Det aller meste av ammoniakken som produserer i verden i dag er «grå» ammoniakk fordi produksjonen er basert på fossil energi med betydelige CO_2-utslipp. Nitrogenet i ammoniakken separeres direkte fra luft, men hydrogen produseres i hovedsak ved at naturgass reformeres til hydrogengass (H_2) og karbondioksid (CO_2). Ved denne fremstillingsprosessen vil ett tonn ammoniakk gi 1,6 tonn CO_2-utslipp.[16] Kull, fyringsolje og nafta (petroleumsfraksjon som også er utgangspunkt for fremstilling av bensin) kan også brukes, men det har høyere utslipp enn gass. Nitrogen og hydrogen bindes i Haber-Bosch-prosessen.



Blå ammoniakk: Blå ammoniakk er akkurat det samme som grå ammoniakk, men der CO_2 fanges og lagres. Dagens teknologi gjør det mulig å fange 85-95 prosent[17] av karbondioksidet ved naturgassreformering. Det betyr at blå ammoniakk ikke er helt utslippsfritt, men det har betydelig lavere klimagassutslipp enn grå ammoniakk.



Grønn ammoniakk: Grønn ammoniakk er det eneste helt utslippsfrie alternativet fordi hydrogenet produseres ved bruk av fornybar strøm. Strøm benyttes til å spalte vann til hydrogen og oksygen i elektrolyseanlegg.



Billigere strøm og dyrere utslipp vil gjøre grønn ammoniakk mer konkurransedyktig

I Norge ble ammoniakk opprinnelig produsert basert på fornybar energi, men den grønne produksjonen ble utkonkurrert av grå da tilgangen på billig gass økte. Rikelig tilgang på rimelig, fornybar strøm og høyere karbonpris kan gjøre grønn ammoniakk konkurransedyktig igjen.

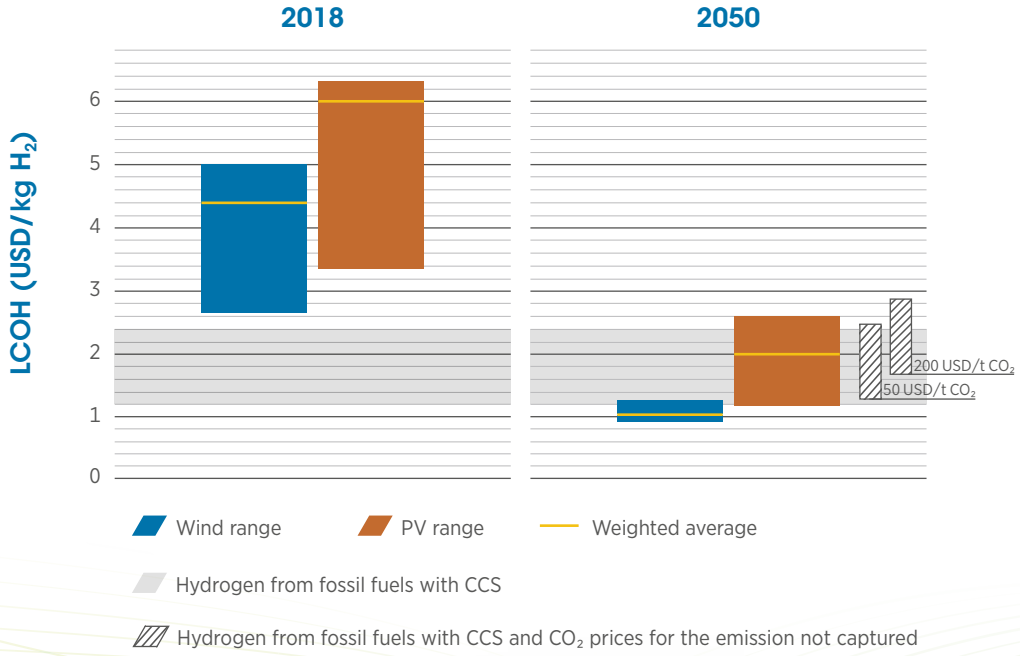
Riktig politikk, som sikrer gode rammevilkår for fornybar energi og samtidig gjør det dyrere å forurense, kan gjøre det billigere å benytte grønt hydrogen i stedet for grått hydrogen i ammoniakkproduksjonen.

Det internasjonale byrået for fornybar energi, IRENA, anslår i rapporten *Hydrogen: A renewable energy perspective*[18] at elektrolysekostnadene kan falle fra 840 amerikanske dollar/kW i 2018 til 370 amerikanske dollar/kW i 2050, samtidig som kostnadene for fornybar strøm også fortsetter å falle. Det vil føre til at der det er tilgang på billig vind- og solkraft kan grønt hydrogen være konkurransedyktig med blått hydrogen produsert fra gass med CCS. En pris på CO_2 vil gjøre grønt hydrogen mer konkurransedyktig i flere markeder også der strømmen ikke er aller billigst.[19] I markeder hvor gassen er billig og der det ikke er noen pris på CO_2, vil det være mer krevende for grønt hydrogen å konkurrere med grått.

I notatet *Producing ammonia and fertilizers: new opportunities from renewables* (IEA, 2017)[20] er det godt illustrert hvordan rikelig tilgang på rimelig fornybar kraft gjør at grønt hydrogen kan konkurrere med hydrogen produsert fra naturgass.

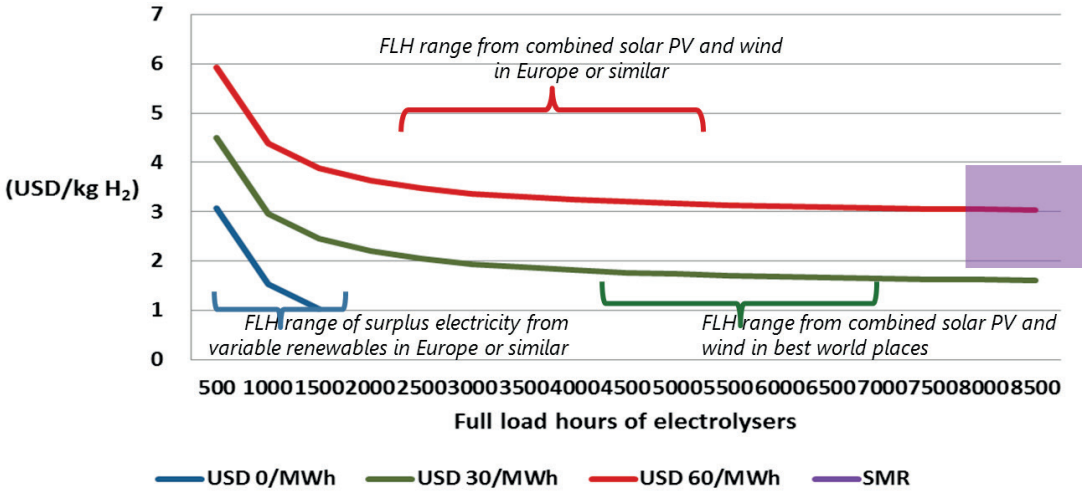
Etter strømprisen og størrelsen på anlegget, er antall *fullasttimer*, altså hvor mange timer elektrolyse-anleggene kan gå for fullt, det mest avgjørende for hvor billig det er mulig å produsere grønt hydrogen. Sol og vind vil være den billigste tilgjengelige kraften, men solcelleanlegg produserer bare når det er lyst og vindkraftanlegg produserer bare når det blåser. Områder med rikelig tilgang på rimelig kraft – gjerne både sol og vind i kombinasjon – kan gi mange fullasttimer i året og dermed rimeligere grønt hydrogen.

Grønt hydrogen blir mer konkurransedyktig mot blått



Kostnadene for hydrogenproduksjon (Levelized Cost of Hydrogen) basert på fornybar energi forventes å bli konkurransedyktig med hydrogenproduksjon fra fossil energi med karbonfangst og -lagring mot 2050. Med en karbonpris vil grønt hydrogen forbedre lønnsomheten mot blått hydrogen ytterligere.
Kilde: IRENA, Hydrogen: A renewable energy perspective, 2019

Kostnad for hydrogenproduksjon



Kostnaden for hydrogen basert på reformering av naturgass (Steam methane reforming (SMR)) ligger her på mellom 1 og 3 dollar/kg H_2.

Rød strek: Med tilgang på strøm til 60 dollar/MWh, kan kostnaden for grønt hydrogen komme ned mot 3 dollar/kg H_2 med over 6000 fullasttimer.

Grønn strek: Med tilgang til strøm til 30 dollar/MWh i 3000 fullasttimer eller mer, vil kostnadene for grønt hydrogen ikke overstige 2 dollar/kg H_2.

Blå strek: «Gratis» overskuddsstrøm fra anlegg som produserer mer enn strømnettet kan ta imot, kan gi billig grønt hydrogen, men det vil være behov for rundt 1000 fullasttimer i året for å kunne produsere hydrogen til en kostnad på rundt 2 dollar/kg H_2.
Kilde: IEA, Producing ammonia and fertilizers: new opportunities from renewables, 2017

Grønn ammoniakk krever mye grønn energi

Hvis all ammoniakk som produseres i verden i dag skal produseres grønt, vil det være behov for minst 1800 TWh fornybar strøm. Det er mer enn 10 ganger Norges totale strømproduksjon.

Ammoniakk inneholder 18 vektprosent hydrogen. Det trengs 50-55 kWh strøm for å produsere 1 kg hydrogen og 10-12 kWh strøm for å produsere 1 kg ammoniakk.

Et ammoniakkanlegg som produserer 100-200 000 tonn ammoniakk per år vil trenge 1-2 TWh elektrisitet pr år. Hvis hele verdens ammoniakkproduksjon på 180 millioner tonn skal produseres med fornybar strøm, trengs det da minst 1800 TWh strøm. Det er mer enn 10 ganger Norges totale strømproduksjon, som i et normalår er på ca. 147 TWh.[21] Den totale globale strømproduksjonen var på 27 005 TWh i 2019 hvorav nesten 10 000 TWh ble produsert fra fornybare energikilder og kjernekraft.[22]

180 millioner tonn ammoniakk er nok til å erstatte rundt 20-30 prosent av det fossile drivstoffet i internasjonal skipsfart.

Det betyr at om hele den internasjonale skipsflåten skal gå på ammoniakk, vil det være behov for 600-900 millioner tonn ammoniakk, som ville krevd et sted mellom 6000 og 11 000 TWh strøm om den skal produseres grønn.

VEKTPROSENT

Vektprosent eller masseprosent er vektandelen av et stoff per 100 vektandeler av total masse. For eksempel vil en 10 prosent saltløsning være 10 g salt løst i 90 g vann.

I gassblandinger brukes ofte volumprosent fremfor vektprosent. For eksempel sier vi at luft inneholder 78 volumprosent nitrogengass, som betyr at i 100 liter «ren» luft er det 78 liter nitrogengass.

Kilde: https://no.wikipedia.org/wiki/Konsentrasjon_(kjemi)

Ammoniakk som drivstoff i skip

Innen et par år er det forventet at ammoniakk både kan brennes direkte i en forbrenningsmotor og benyttes i en brenselcelle om bord i skip.

Foreløpig er det ingen skip som går på ammoniakk, men det jobbes både med å tilpasse tradisjonelle forbrenningsmotorer til å kunne brenne ammoniakk, og med brenselceller hvor ammoniakk spaltes til nitrogen og hydrogen, før hydrogenet reagerer med oksygen fra luft i brenselcellen og produserer strøm som driver en elektrisk motor.

FORBRENNINGSMOTORER

I en forbrenningsmotor kan ammoniakk brennes både i gassform og flytende. (Ammoniakk blir flytende ved minus 33 °C.)

Den største fordelen ved å brenne ammoniakk direkte i en forbrenningsmotor er at det kan redusere behovet for å bytte ut hele skipsflåten eller gjøre store og kostbare ombygninger. Ulempen er at en forbrenningsmotor er noe mindre energieffektiv enn en brenselcelle, og når ammoniakk brennes direkte i en motor vil det gi utslipp av NO_X. NO_X-utslippene kan imidlertid håndteres ved bruk av SCR-teknologi (Selective Catalytic Reduction) som renser eksosen.

BRENSELCELLER

Brenselceller konverterer gass til elektrisitet og varme i en elektrokjemisk prosess. Når rent hydrogen brukes som drivstoff i en brenselcelle, er utslippet kun vann. Hvis det benyttes drivstoff som inneholder karbon, for eksempel metanol, er utslippene vann og CO_2. Hvis ammoniakk benyttes som drivstoff er utslippene vann og nitrogen.

Ammoniakk kan benyttes i ulike brenselceller. I lavtemperatur brenselceller, som Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (**PEMFC**) som opererer på temperaturer rundt 60-90 °C, må ammoniakken først spaltes til nitrogen og hydrogen. PEMFC er utbredt i brenselcelleelektriske kjøretøy og har sin fordel ved at den er relativt kompakt og har lav vekt og ved at den har relativt lav og raskt synkende kostnad. I tillegg har den rask oppstart med god toleranse for lastvariasjoner. Ulempen med å benytte PEM-brenselceller drevet av ammoniakk er at det gir noe lavere effektivitet fordi ammoniakk først må spaltes til hydrogen og nitrogen. Det krever varme på høyere temperatur enn det brenselcellen operer på, og krever derfor at noe av drivstoffet brukes til å produsere varme til denne prosessen. En annen ulempe er at teknologien er svært sensitiv til rester av ammoniakk i hydrogenet som tilføres brenselcellen (en annen lavtemperatur brenselcelle teknologi, alkaliske brenselceller (AFC), har ikke denne ulempen).

En Solid Oxide Fuel Cell (**SOFC**) er en høytemperatur brenselcelle som kan bruke ammoniakk direkte, ved at overskuddsvarme fra brenselcellen brukes til spalting av ammoniakk til hydrogen og nitrogen. Hydrogen reagerer deretter med oksygen fra luft og produserer elektrisitet. En SOFC-brenselcelle har høyere effektivitet enn PEM-brenselcelle. I motsetning til forbrenningsmotoren kreves det ingen håndtering av avgasser, siden det ikke er utslipp av partikler eller NO_X fra brenselcellen. SOFC er foreløpig en mer umoden og kostbar teknologi enn PEMFC.

Risiko ved bruk av ammoniakk som drivstoff

Som ved alle andre drivstoff er det også utfordringer og risiko forbundet med bruk av ammoniakk i skip.

Ammoniakk har lavere energitetthet enn flytende fossilt drivstoff. Det tar mer plass og veier mer enn bunkersolje og diesel. Noen materialer, slik som kobber og sink, korroderer raskt i kontakt med ammoniakk. Ved utslipp kan ammoniakk omdannes til lystgass (N_2O) og svevestøv. Ammoniakk er giftig selv i relativt sett små mengder. Ammoniakk er imidlertid lett påviselig ved lukt ved konsentrasjoner som er vesentlig under de helseskadelige nivåene.[23]

Ammoniakk fraktes i betydelig omfang som vare på skip i dag, og det finnes derfor gode, etablerte rutiner og krav til hvordan ammoniakk håndteres på skip. Tilsvarende krav og reguleringer må på plass før ammoniakk kan godkjennes til bruk som drivstoff i skip.

Ingen drivstoff er ufarlige. Amerikanske The National Fire Protection Association (NFPA) har klassifisert ammoniakk som et giftig stoff med høy risiko for helsen. Eksplosjonsfaren er imidlertid mye lavere enn for eksempel hydrogen, LPG (Liquefied Petroleum Gas) og naturgass.

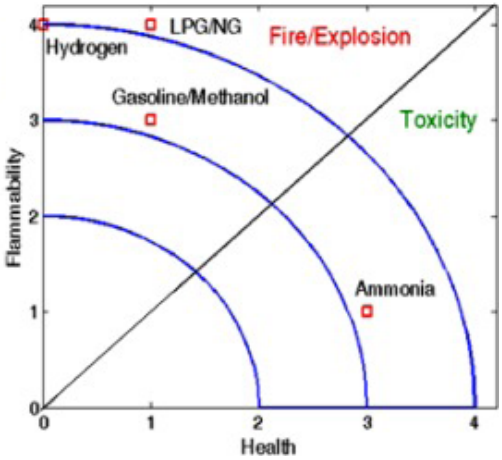
Siden ammoniakk er mindre eksplosivt, men mer giftig enn andre drivstoff, må det håndteres ulikt.

Det vil aldri være mulig å fjerne risikoen ved bruk av et drivstoff fullstendig, men risikoen må tas ned på et nivå som gjør at det både er og oppleves som akseptabelt – på linje med å benytte bensin, diesel og olje.

Ammoniakk er giftig, men mindre eksplosivt enn andre drivstoff

Substance	Health	Flammability	Reactivity
Ammonia	3	1	0
Hydrogen	0	4	0
Gasoline	1	3	0
LPG	1	4	0
Natural Gas	1	4	0
Methanol	1	3	0

0=No hazard, 4=Severe hazards



The National Fire Protection Association (NFPA) har klassifisert ammoniakk som et giftig stoff med høy risiko for helsen (3) men liten fare for brann/eksplosjon (1).
Kilde: Ammonia for power, Valera-Medina et al, 2018

Summen av fire faktorer gjør ammoniakk til det potensielt beste alternativet

- **Ammoniakk kan produseres karbonfritt**
- **Ammoniakk kan enkelt lagres og transporteres**
- **Ammoniakk har høyere energitetthet enn andre karbonfrie alternativer**
- **Rimeligere strøm vil gjøre karbonfri ammoniakk billigere**

AMMONIAKK KAN PRODUSERES KARBONFRITT

En av fordelene med ammoniakk er at det er et av få alternative drivstoff som ikke inneholder karbon. Hele produksjonskjeden kan også være karbonfri. Både syntetiske drivstoff (e-LNG, e-diesel og e-metanol) og biodrivstoff inneholder karbon. Det betyr ikke at dette trenger å være dårlige løsninger, men det vil være avhengig av hvor karbonet kommer fra, hvor energikrevende det er å produsere drivstoffet, og kostnadene knyttet til produksjon og bruk.

Fordi målene i Parisavtalen krever betydelige kutt i utslippene bør ikke karbonbaserte drivstoff være basert på karbon fra fossile energikilder eller fra industri. CO_2 fanget fra luften kan være eneste karbon-kilde som er mulig å benytte om karbonbaserte e-drivstoff skal produseres i tråd med målene i Parisavtalen.

Karbon fanget fra luft, såkalt direct air capture (DAC), er en umoden teknologi som foreløpig er dyr og energikrevende.[24]

AMMONIAKK KAN ENKELT LAGRES OG TRANSPORTERES

Ammoniakk blir flytende ved minus 33 °C. Det er relativt enkelt å lagre og transportere ammoniakk, og rundt 20 millioner tonn ammoniakk fraktes allerede i dag som vare på skip. Det betyr at det ikke bare finnes regelverk og instruks for håndtering av ammoniakk på skip, det finnes også en etablert global produksjon og fraktruter for transport til sjøs.

AMMONIAKK HAR HØYERE ENERGITETTHET ENN ANDRE KARBONFRIE ALTERNATIVER

I likhet med ammoniakk, er batterier og hydrogen karbonfrie ved bruk. Både batterier og hydrogen kan være bedre alternativer enn ammoniakk i mindre fartøy som har mulighet for å bunkre eller lade relativt ofte. Men for store skip som går i internasjonal trafikk, konkluderer Lloyd's Register og UMAS i rapporten *Techno-economic assessment of zero carbon fuels*[25] med at merkostnaden vil være lavere ved bruk av ammoniakk enn batteri og hydrogen først og fremst på grunn av energitettheten. Ammoniakk tar mindre plass. Det gir mer plass til varene som skal fraktes, og dermed mindre tap av inntekter.

RIMELIGERE STRØM VIL GJØRE KARBONFRI AMMONIAKK BILLIGERE

I dag er ammoniakk et dyrt alternativ til fossilt drivstoff. Og grønn ammoniakk er dyrere enn grå. Men fornybar strøm fra sol og vind er blitt betydelig billigere de siste ti årene og det er forventet at denne utviklingen vil fortsette. Rikelig tilgang på rimelig og fornybar strøm vil gjøre karbonfri ammoniakk mer konkurransedyktig.

Politikk og marked kan skru opp tempoet

Skipsfarten må bli utslippsfri innen 2050. Rett politikk og krevende kunder kan sørge for nødvendig tempo.

Danske Ørsted – et av verdens ledende selskaper innen havvind – har vedtatt en ambisjon om at hele deres leverandørkjede skal være klimanøytral innen 2040. Det inkluderer også fartøy som inngår i bygging og drift av havvindparkene. Konsekvensen av slike krav, er at Østensjø Rederi[26] er i ferd med å bygge nye havvindfartøy som klargjøres for fossilfri drift, og også VARD[27] designer havvindfartøy som skal kunne operere uten utslipp.

Tilsvarende opplever vi et grønt skifte innen norske bilferger og hurtigbåter. Her er det stat og fylker som stiller kravene.

Internasjonal handelstrafikk – som står for de store utslippene – henger foreløpig etter.

«Hvis vi bytter til et dyrere drivstoff uten at konkurrentene våre gjør det samme, er vi konkurs.»

Det fortalte en leder i et bergensbasert rederi som har drevet med varetransport til sjøs siden slutten av 1800-tallet. Han sa det ikke som en unnskyldning. Det var mer en forklaring på hva som skjer – eller snarere hva som ikke skjer i internasjonal skipsfart.

Store bulkskip, containerskip og tankskip har ikke de samme incentivene som norske ferge- og hurtigbåtrederi har til å erstatte fossilt drivstoff med utslippsfrie alternativer. Men disse incentivene må komme – fra både politikk og marked.

Når utslippene fra skipsfarten skal kuttes, vil det koste. Prislappen for 100 prosent utslippskutt innen 2050 kan komme opp i 1400 – 1900 milliarder amerikanske dollar over 20 år, ifølge analysen *The scale of investment needen to decarbonize international shipping* fra University Maritime Advisory Services (UMAS) og Energy Transitions Commission (ETC).[28]

Kostnadsanslaget er basert på at ammoniakk er det primære karbonfrie brenselvalget.

ETCs styreleder, lord Adair Turner anslår at merkostnaden kan føre til at vareeiere må betale 100 prosent mer[29] for å få fraktet biler, stein, tomater og dongeribukser.

Hvor mye dyrere varene blir i siste ledd, vil variere. Fraktkostnadene for en dongeribukse utgjøre gjerne ikke mer enn et par prosent av utsalgsprisen, mens ved frakt av råvarer som for eksempel stein og grus, kan fraktkostnadene utgjøre rundt 30 prosent.

Men selv i segment hvor en dobling av fraktkostnadene vil gi en merkbar økning i vareprisene, er det ikke prisen i seg selv som er det største problemet. Problemet er at ingen vil skru opp prisen først. Det vil være det samme som å slå seg selv konkurs.

Det er her både markedets og politikkens krav må inn. Kunder må begynne å kreve at utslippene fra transport av varer må kuttes. Og så må nasjonal politikk ta ansvar for

tempoet i teknologiutviklingen i påvente av strengere globale reguleringer.

Det trengs blant annet at:

- Forpliktende og ambisiøse klimamål for innenriks skipsfart vedtas og følges.
- Stat, fylker og kommuner stiller klimakrav til alle offentlige innkjøp av varetransport til sjøs.
- Myndigheter må gi incentiver som gjør det interessant å etablere nye verdikjeder for produksjon, lagring, distribusjon og bruk av utslippsfritt drivstoff.

Sluttnoter

1 https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/

2 https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf

3 http://www.krs.co.kr/TECHNICAL_FILE/KR_Forecasting%20the%20Alternative%20Marine%20Fuel_Ammonia.pdf

4 https://eto.dnvgl.com/2019/Maritime/

5 http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC%20sectoral%20focus%20-%20Shipping_final.pdf

6 https://e24.no/hav-og-sjoemat/i/rAKm0w/eidesvik-far-verdens-frste-utslippsfrie-offshorefarty

7 https://www.tu.no/artikler/pilotstudie-color-fantasy-pa-ammoniakk/490392

8 https://fathom.world/nogaps-launch/

9 https://www.lr.org/en/latest-news/industry-leaders-join-forces-on-ammonia-fuelled-tanker-project/

10 https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf

11 http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf

12 https://stats.unctad.org/handbook/MaritimeTransport/MerchantFleet.html

13 https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019

14 http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf

15 https://nh3fuelassociation.org/introduction/

16 https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf

17 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

18 https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective

19 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf

20 https://www.ee.co.za/wp-content/uploads/2017/06/Producing-ammonia-and-fertilizers-new-opportunities-from-renewables.pdf

21 https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/?ref=mainmenu

22 https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html

23 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128517302320

24 https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/

25 https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/

26 https://energiogklima.no/nyhet/offshore-vind-skaper-marked-for-gronne-skip/

27 https://www.mol.co.jp/en/pr/2020/20026.html

28 https://www.globalmaritimeforum.org/news/the-scale-of-investment-needed-to-decarbonize-international-shipping

29 https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1129143/Zerocarbon-shipping-to-double-freight-costs

Norsk klimastiftelse

NORGES GRØNNE TANKESMIE